



УДК 621.313.001.41

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОЛОСТОГО ХОДА ДЛЯ СИНХРОННЫХ МАШИН И МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ LABVIEW

## DETERMINATION OF NO-LOAD CHARACTERISTIC FOR SYNCHRONOUS MACHINES AND DIRECT CURRENT MACHINES IN RESULT OF PROCESSING EXPERIMENTAL DATA IN THE LABVIEW SYSTEM DESIGN SOFTWARE

**Коренистов Сергей Владимирович**, студент, каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: kem\_em@urfu.ru, Тел.: +7(343)375-45-73

**Мойсейченков Александр Николаевич**, канд. техн. наук, доцент каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.n.moiseichenkov@urfu.ru, Тел.: +7(343)375-45-73

**Sergei V. Korenistov**, student, Electrical Machines Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kem\_em@urfu.ru. Ph.: +7(343)375-45-73

**Alexander N. Moiseichenkov**, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Electrical Machines Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.n.moiseichenkov@urfu.ru. Ph.: +7(343)375-45-73

**Аннотация:** Приведено описание программы для обработки экспериментальных данных в среде разработки программного обеспечения *LabVIEW* для определения характеристики холостого хода для синхронных машин и машин постоянного тока.

**Abstract:** A program for processing experimental data in the LabVIEW system design software for determination of no-load characteristic for synchronous machines and direct current machines is described.

**Ключевые слова:** характеристика холостого хода; синхронная машина; машина постоянного тока; обработка экспериментальных данных.

**Key words:** no-load characteristic; synchronous machine; direct current machine; experimental data processing.

### ВВЕДЕНИЕ

Объем типовых испытаний синхронных машин и машин постоянного тока включает определение характеристики холостого хода.

Определение характеристик холостого хода регламентировано действующими стандартами: синхронных машин (СМ) - ГОСТ 10169-77 [1], машин постоянного тока (МПТ) - ГОСТ 10159-79 [2].

Как известно, характеристика холостого хода является одной из основных характеристик и определяет основные эксплуатационные свойства

электрической машины [3,4,5]. Характеристика холостого хода позволяет так же оценить насыщение магнитной цепи электрической машины при номинальном напряжении, проверить соответствие результатов расчета машины при проектировании результатам эксперимента.

Характеристика холостого хода СМ представляет зависимость напряжения обмотки якоря СМ  $U_0$  от тока возбуждения СМ  $I_{В\text{ СМ}}$ :

$$U_{0\text{ СМ}} = f(I_{В\text{ СМ}}) . \quad (1)$$

Характеристика холостого хода МПТ, соответственно, представляет зависимость напряжения якоря МПТ  $U_0$  от тока возбуждения МПТ  $I_{В\text{ МПТ}}$ :

$$U_{0\text{ МПТ}} = f(I_{В\text{ МПТ}}). \quad (2)$$

Характеристику холостого хода предпочтительно определяют в режиме генератора при холостом ходе (ток обмотки якоря  $I \approx 0$  и определяется сопротивлением измерительных преобразователей для измерения напряжения) и номинальном значении частоты вращения ротора  $\omega = \omega_{\text{НОМ}}$ .

Величина напряжения обмотки якоря в режиме ненагруженного генератора будет незначительно отличаться от величины ЭДС обмотки якоря.

Характеристика холостого хода (1,2) подобна в соответствующем масштабе магнитной характеристике машины - зависимости магнитного потока  $\Phi$  от числа витков обмотки возбуждения  $w_{ОВ}$  и тока обмотки возбуждения  $I_{ОВ}$ :

$$\Phi = w_{ОВ} f(I_{ОВ}). \quad (3)$$

Как известно, вследствие явления гистерезиса в магнитной цепи характеристика холостого СМ и МПТ имеет вид петли гистерезиса.

Для автоматизации процесса обработки результатов измерений при проведении испытаний электрических машин в учебной лаборатории кафедры "Электрические машины" УрФУ в результате учебно-исследовательской работы студентов (УИРС) кафедры разработан программный модуль ("виртуальный прибор") "Определение характеристик холостого хода синхронных машин и машин постоянного тока возбуждаемых постоянным током" в среде разработки программного обеспечения *LabVIEW* фирмы *National Instruments*.

При прохождении преддипломной практики выполнено тестирование разработанного программного модуля по результатам испытаний МПТ типа П-42 и физической модели явнополюсной СМ, выполненной на базе асинхронного двигателя АО2-42-6.

#### ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И РЕГИСТРИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

При проведении испытаний на испытательном стенде лаборатории для выполнения измерений применялись многоканальные измерительные комплексы *NI-AK-1020* и *NI-IK-1520* на программно-аппаратной платформе *PXI* фирмы *National Instruments*. Для измерения токов

использовались датчики тока фирмы *LEM* типа *LA-55-sp1*. Для измерения напряжения - датчики напряжения фирмы *LEM* типа *LV-25-400*. Для измерения частоты вращения ротора использовался лазерный фотоотметчик оборотов фирмы "Диамех 2000" типа КР-020Л.

Для СМ регистрировались мгновенные значения напряжения обмотки якоря СМ (схема соединения обмотки - звезда) и тока обмотки возбуждения СМ, сигнал лазерного фотоотметчика оборотов для определения частоты вращения ротора.

Для МПТ регистрировались мгновенные значения напряжения обмотки якоря МПТ, ток обмотки возбуждения МПТ, сигнал лазерного фотоотметчика оборотов для определения частоты вращения ротора.

#### ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ *LABVIEW*

Первичная обработка сигналов измеряемых величин выполняется в следующей последовательности:

1. Приведение результатов измерения напряжений и токов к масштабам измеряемых физических величин в соответствии с результатами калибровки измерительных каналов.
2. Определение среднего значения тока возбуждения МПТ  $I_{В\text{ МПТ}}$  и СМ  $I_{В\text{ СМ}}$ .
3. Определение частоты напряжения обмотки якоря СМ  $f_{СМ}$  для осциллограммы мгновенных значений напряжения обмотки якоря СМ.
4. Определение среднего значения напряжения якоря МПТ  $U_{0\text{ МПТ}}$  и среднеквадратического значения основных гармоник напряжения фаз и/или междупазных напряжений обмотки якоря СМ.
5. Определение частоты вращения ротора  $\omega$  по сигналу (осциллограмме импульсов) от лазерного отметчика оборотов.
6. Пересчет значений напряжения к постоянному значению частоты вращения ротора и/или постоянному значению частоты напряжения обмотки якоря СМ.
- 6.1. Пересчет значений напряжения к постоянному значению частоты вращения ротора равному номинальному значению  $\omega = \omega_{\text{НОМ}} = \text{const}$ :

$$U_{0\text{ СМ } \omega_{\text{НОМ}}} = U_{0\text{ СМ } \frac{\omega_{\text{НОМ}}}{\omega}}, \quad (4)$$

$$U_{0 \text{ МПТ } \omega_{\text{НОМ}}} = U_{0 \text{ МПТ }} \frac{\omega_{\text{НОМ}}}{\omega}. \quad (5)$$

6.2. Пересчет значений напряжения к постоянному значению частоты напряжения обмотки якоря СМ равному номинальному значению  $f_{\text{СМ}} = f_{\text{СМ ном}} = \text{const}$ :

$$U_{0 \text{ СМ } f_{\text{СМ ном}}} = U_{0 \text{ СМ }} \frac{f_{\text{СМ ном}}}{f_{\text{СМ}}}. \quad (6)$$

7. Оценка симметрии напряжений фаз обмотки якоря СМ.

Для случая определения характеристики холостого хода для экспериментальной петли гистерезиса [2,5] при последующей обработке экспериментальных данных модулем выделяются ветви размагничивания при убывающем токе возбуждения и ветви намагничивания при возрастающем токе возбуждения.

Для выделенных ветвей петли гистерезиса выполняется аппроксимация, затем определяется средняя характеристика, каждой ординате которой соответствует среднее значение абсцисс восходящей и нисходящей ветвей [2,5].

На рис. 1 приведены графики ветви намагничивания, ветви размагничивания, средней характеристики холостого хода физической модели явнополюсной СМ, приведенные к номинальному значению частоты вращения ротора  $\omega = \omega_{\text{НОМ}} = 1000$  об/мин.

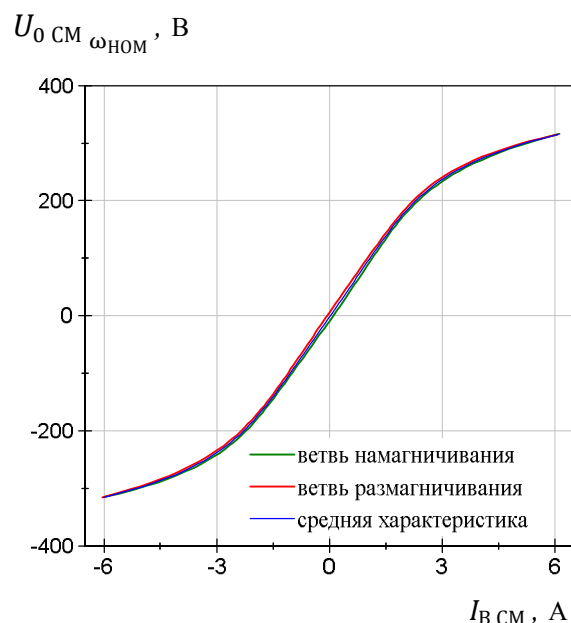


Рис. 1. Экспериментальная характеристика холостого хода физической модели явнополюсной СМ

Выполняется построение характеристики холостого хода, проходящей через начало

координат, смещением снятой ветви размагничивания по оси абсцисс на величину смещения  $\Delta I_B$  [1,2,5].

Для характеристики холостого хода, проходящей через начало координат определяется коэффициент насыщения магнитной цепи.

После приведения характеристики холостого хода к системе относительных единиц определяется отклонение характеристики от рассчитанной при ее наличии и/или от нормальных характеристик турбогенераторов и гидрогенераторов в относительных единицах [3] или универсальной характеристикой намагничивания МПТ [4] а также другой характеристики, заданной пользователем.

На рис. 2 приведены графики смещенной на величину смещения  $\Delta I_B$  ветви размагничивания, средней характеристики холостого хода физической модели явнополюсной СМ, нормальных характеристик турбогенераторов и гидрогенераторов в относительных единицах [3]. Базовое значение напряжения равно номинальному значению напряжения:  $U_{\text{баз.}} = U_{\text{СМ ном.}} = 230$  В. Базовое значение тока возбуждения СМ равно номинальному значению тока возбуждения холостого хода:  $I_{\text{В СМ баз.}} = I_{\text{В0 СМ ном.}} = 3$  А.

$U_{0 \text{ СМ } \omega_{\text{НОМ}}}$ , о.е.

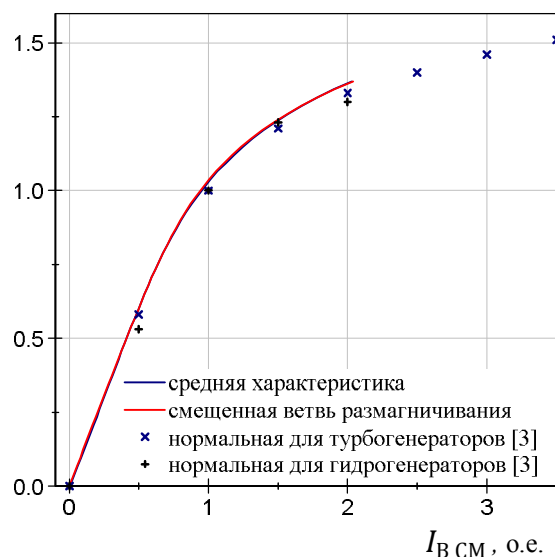


Рис. 2. К сравнению экспериментальной характеристики холостого хода физической модели явнополюсной СМ с нормальными характеристиками

На рис. 3 приведены графики для МПТ типа П-42: характеристика холостого хода, рассчитанная по данным из каталога [6], экспериментальная ветвь

размагничивания и экспериментальная ветвь размагничивания, смещенная на величину смещения  $\Delta I_B$ .

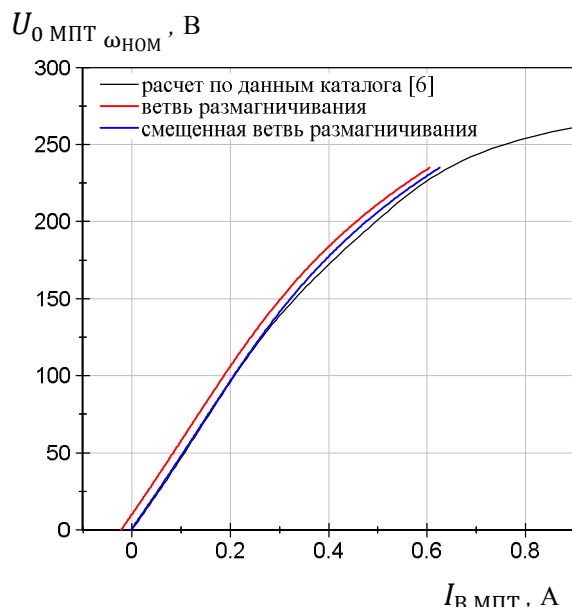


Рис. 2. К сравнению экспериментальной характеристики холостого хода МПТ типа П-42 с расчетной характеристикой

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный программный модуль позволяет выполнить построение характеристики холостого хода синхронных машин и машин постоянного тока возбуждаемых постоянным током в соответствии с требованиями стандартов [1,2] и рекомендациями [5], оценить насыщение магнитной цепи электрической машины при номинальном напряжении, проверить соответствие результатов эксперимента результатам расчета (при их наличии) или другой заданной пользователем характеристике.

Программный модуль может быть использован как для обработки экспериментальных данных, полученных с применением измерительных комплексов *National Instruments* в учебной лаборатории кафедры "Электрические машины"

так и для обработки файлов данных, полученных с применением другого измерительного оборудования после согласования формата представления записанных экспериментальных данных.

Необходимо дальнейшее тестирование модуля, разработанного в результате выполнения УИРС, для различных наборов исходных данных с целью выявления возможных ошибок, не выявленных при тестировании.

Программный модуль может быть использован при тестировании программных модулей для решения данной задачи, разрабатываемых студентами при изучении дисциплины "Автоматизированные испытания электрических машин".

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 10169-77. Машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний. Взамен ГОСТ 10169-68 ; введ. 01.01.1978 в части пп.25-27 01.07.1979. М.: Издательство стандартов, 1984.
2. ГОСТ 10159-79. Машины электрические вращающиеся коллекторные. Методы испытаний. Введ. с 01.07.1980 г. Взамен ГОСТ 10159-69. М.: ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. 1999.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. 3-е изд., перераб. Л.: Энергия, 1978. 832 с.
4. Хвостов В.С. Электрические машины: Машины постоянного тока: Учеб. для студ. электром. спец. вузов / Под ред. И.П. Копылова. М.: Высш. шк., 1988. 336 с.
5. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. 4-е изд., сокр. и перераб. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1984. 408 с.
6. Гурин Я.С. Электрические машины постоянного тока единой серии П 1-22-го габаритов и двигатель-генераторы: Каталог-справочник / Гос. ком. по электронике при Госплане СССР. Москва: ВНИИЭМ. Отд-ние науч.-техн. информации, стандартизации и нормализации в электротехнике, 1964. 226 с.